

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Методичні вказівки

до практичних та самостійних занять, контрольних завдань,
курсової роботи і лабораторної роботи

з дисципліни

«ОСНОВИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТЯГИ»

*(для студентів заочної форми навчання напряму підготовки
6.050702 «Електромеханіка», спеціальностей «Електричні системи і
комплекси транспортних засобів» та «Електричний транспорт»)*

Методичні вказівки до практичних та самостійних занять, контрольних завдань, курсової роботи і лабораторної роботи з дисципліни «Основи електричної тяги» (для студентів заочної форми навчання напряму підготовки 6.050702 «Електромеханіка», спеціальностей «Електричні системи і комплекси транспортних засобів» та «Електричний транспорт») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: П. М. Пушков, Ю. В. Мінеєва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 42 с.

Укладачі: П. М. Пушков, Ю. В. Мінеєва

Рецензент: доц., к.т.н. В. П. Андрійченко

Затверджено на засіданні кафедри електричного транспорту,
протокол № 9 від 29.03.2011р.

ВСТУП

Курс «Основи електричної тяги» розглядає загальну теорію руху поїзда, процеси реалізації сил тяги й гальмування, сили опору руху, характеристики тягового й гальмового режимів руху поїзда, розрахунок і побудова кривих руху поїзда, витрата енергії на рух поїзда, розрахунок нагрівання тягових електричних двигунів, питання частотно-регульованого асинхронного тягового привода.

Для студентів, що навчаються за спеціальностями – «Електричні системи і комплекси транспортних засобів» та «Електричний транспорт», ця дисципліна є однією з основних спеціальних дисциплін і служить базою для вивчення дисциплін «Електропостачання електричного транспорту», «Електричне обладнання рухомого складу», «Ремонт транспортних засобів». Навчальний план для вивчення даної дисципліни передбачає:

- установочні лекції під час сесій;
- самостійну роботу над навчальним матеріалом відповідно до рекомендованої літератури;
- виконання контрольних завдань, курсової та лабораторної роботи;
- консультації, підготовка до здачі іспиту.

Курсова робота передбачає розрахунок параметрів і побудову характеристик тягових електричних двигунів, розрахунок параметрів і характеристик режимів пуску й гальмування електрорухомого складу заданого типу.

Метою лабораторної роботи є набуття навичок визначення питомого основного опору руху рухомого складу на вибігу.

Настановні лекції мають на меті роз'яснення найбільш важких тем дисципліни, методики самостійної роботи студентів з рекомендованою літературою. Для глибокого розуміння й закріплення теоретичного матеріалу, вивченого з рекомендованої літератури, по кожній темі дисципліни необхідно відповісти на всі питання для самостійної перевірки й вирішити відповідні завдання контрольних завдань. Своєчасному і якісному виконанню контрольних завдань і курсової роботи надане особливе значення, тому що вони є письмовим звітом студентів щодо проробленої самостійної роботи з вивчення навчального матеріалу дисципліни. Основна й додаткова література з курсу наведена наприкінці чинних методичних вказівок.

Методичні вказівки до вивчення теоретичної частини дисципліни

Вступ

Предмет і значення дисципліни з підготовки інженера - електромеханіка. Короткий історичний огляд розвитку електричної тяги. Загальні відомості про електричний транспорт.

[1], с. 3-8; [4], с. 4-5; [5], с. 5-10; [6], с. 6-9, 19-29.

Контрольні питання:

1. Як класифікуються електричний транспорт за призначенням, за конструктивним виконанням, за системою струму й типу використовуваних електричних тягових двигунів?
2. Чому електричну енергію до міського електротранспорту підводять тільки на постійному струмі?
3. Які значення напруги контактної мережі постійного струму для МЕТ прийняті в нашій країні й за рубежом і чим вони обумовлені?
4. Які типи трамвайних вагонів і тролейбусів експлуатуються на цей час у містах України?

Розділ 1. Теоретичні основи руху поїзда

Тема 1. Механіка руху поїзда

Рівняння руху поїзда. Визначення коефіцієнта інерції обертових частин. Загальний аналіз основних режимів руху поїзда. Поняття про тягові й гальмові характеристики. Коефіцієнт твердості. Криві руху поїзда і їхньої властивості.

[1], с. 9-24; [4], с. 6-15; [5], с. 11-21; [6], с. 55-62; [7], с. 170-178.

Контрольні питання:

1. Що являє собою наведена маса поїзда?
2. Що враховує коефіцієнт інерції обертових частин поїзда? Від чого залежить його величина?
3. Які значення коефіцієнта інерції обертових частин трамвайних вагонів і тролейбусів?
4. Напишіть рівняння руху поїзда у двох видах (формах).
5. Чим обумовлена необхідність введення в рівняння руху поїзда перевідних коефіцієнтів? Які їхні значення?
6. Назвіть основні режими руху поїзда й сили, що діють на поїзд у цих режимах.
7. Що називають кривими руху поїзда?
8. За яких умов у режимах тяги, вибігу й гальмування поїзд рухається зі сталою (постійною) швидкістю?
9. Чому відповідає площа під кривою руху $V(t)$?

Тема 2. Реалізація сил тяги й гальмування

Утворення сили тяги й гальмування, її обмеження за умовами зчеплення. Фізичні процеси утворення сили зчеплення. Коефіцієнт зчеплення, його розрахункові значення. Вплив розбіжності електромеханічних характеристик тягових двигунів, типу проведення, твердості характеристик на реалізацію сили зчеплення. Заходи щодо підвищення зчеплення.

[1], с. 25-38; [4], с. 16-35, 40-41; [5], с. 21-36; [6], с. 62-70; [7], с. 4-14.

Контрольні питання:

1. Поясніть процес виникнення сили зчеплення окремого колеса при дії на його рушійного і гальмового моменту.
2. Які умови нормального (без ковзання) кочення колеса в режимах тяги і гальмування?
3. Яка умова нормальної (без буксування) реалізації сили тяги поїзда?
4. Яка умова нормальної (без юза) реалізації сили гальмування поїзда?
5. Яка природа сили зчеплення?
6. Що називають зчіпною й гальмовою вагою поїзда?
7. Що називають розрахунковим коефіцієнтом зчеплення? Які його значення для РС МЕТ?

Тема 3. Сили опору руху поїзда

Природа й класифікація сил опору руху. Основний опір руху. Додатковий опір руху. Заходи щодо зменшення опору руху. Методи визначення основного опору руху.

[1], с. 39-51; [4], с. 42-55; [5], с. 37-54; [6], с. 71-94; [7], с. 122-135.

Контрольні питання:

1. Що являють собою повний, основний і додатковий опори руху поїзда? Від чого вони залежать і чим обумовлені?
2. Чим обумовлена різниця в розрахункових значеннях основного опору руху в режимі тяги (електричного гальмування) і в режимі вибігу (механічного гальмування)?
3. В якому випадку сила опору руху може бути спрямована по напрямку руху поїзда?
4. Назвіть експлуатаційні й конструктивні заходи щодо зменшення опору руху.
5. Що означає, крутість схилу, що виражена в тисячних частках (промілях)?
6. Чому чисельно дорівнює питомий опір руху від ухилу?
7. Як розраховують питомий опір руху в кривих ділянках шляху?

Розділ 2. Характеристики тягового й гальмового режимів руху поїзда

Тема 4. Характеристики тягових двигунів постійного струму

Рівняння напруг, моментів, потужностей. Електромеханічної й тягові (механічні) характеристики двигунів різних систем збудження, що віднесені до вала двигуна і до обода рушійного колеса.

[1], с. 52-65; [4], с. 67-77; [5], с. 55-73; [6], с. 95-97, 110-122; [7], с. 15-31.

Контрольні питання:

1. Накресліть енергетичну діаграму (діаграму електромеханічного перетворення енергії) двигуна послідовного збудження й поясніть її.
2. Напишіть формули ЕРС і обертального моменту, рівняння напруг для ланцюга якоря двигуна й рівняння моментів у сталих і перехідному режимах.
3. Що називають електромеханічними характеристиками на валу тягового двигуна й від чого залежить їхній вид (форма)?
4. Що називають електромеханічними характеристиками на ободі колеса, що рухається, і від яких конструктивних параметрів рухомого складу вони залежать?
5. Чим обумовлена наявність у кривій ККД двигуна максимуму? За якого режиму роботи ККД двигуна дорівнює нулю?
6. Які види втрат потужності мають місце у двигуні постійного струму й від чого вони залежать?
7. Яким чином при розрахунку електромеханічної характеристик двигуна визначають суму його механічних і магнітних втрат?
8. Яким чином визначають утрати в механічній передачі тягового електропривода?
9. Яким чином при розрахунку електромеханічних характеристик двигуна визначають значення магнітного потоку збудження?
10. Що являють собою основні й додаткові магнітні втрати тягового двигуна? Як ураховують додаткові магнітні втрати при навантаженні двигуна?
11. Двигуни яких систем збудження можуть автоматично переходити в генераторний режим роботи (у режим рекуперативного гальмування) і чому?
12. Двигуни яких систем збудження мають «м'які» тягові характеристики і які - «тверді»?
13. Чим обумовлене розходження в ступені твердості тягових характеристик двигунів послідовного й паралельного (незалежного) збудження?
14. Чому обмежується мінімальне навантаження двигуна послідовного збудження?

Тема 5. Регулювання швидкості рухомого складу

Способи регулювання швидкості. Регулювання швидкості зміною напруги, підведеного до якорів тягових двигунів, і величини магнітного потоку. Характеристики двигунів при зміні напруги й магнітного потоку. Регулювальні властивості тягових двигунів.

[1], с.66-80; [4], с. 77-86; [5], с. 101-113; [6], с.34-38; [7], с. 41-52.

Контрольні питання:

1. Назвіть способи регулювання швидкості тягових двигунів постійного струму.
2. Назвіть способи зміни напруги на затискачах тягового двигуна при заданій напрузі контактної мережі.
3. Назвіть способи регулювання магнітного потоку тягових двигунів різних систем збудження.
4. Що називають коефіцієнтом регулювання збудження?
5. Яка залежність швидкості й сили тяги від напруги в тягових двигунів послідовного й змішаного збудження?
6. Як впливає на ККД тягових двигунів зниження напруги й ослаблення магнітного потоку?
7. Чому при незмінних умовах руху й ослабленні магнітного потоку збудження двигунів швидкість зростає, а при посиленні потоку знижується?
8. Чи відповідає значення коефіцієнта регулювання збудження ступеня ослаблення магнітного потоку?
9. Яке призначення індуктивного шунта?
10. Чим визначають припустимий ступінь ослаблення магнітного потоку тягових двигунів РС МЕТ?
11. Яка методика наближеного перебудування характеристик тягового двигуна послідовного збудження $V(I)$, $F_k(I)$, $F_k(V)$, що відповідають повному збудженню, на ослабленому збудженні?
12. Яка методика перерахування характеристик тягового двигуна послідовного збудження $V(I)$, $F_k(I)$, $F_k(V)$, при зміні підведеної напруги й при введенні в ланцюг якоря резистора?
13. Як протікає процес зміни швидкості двигунів послідовного й змішаного збудження при зміні підведеної напруги?
14. Як протікає процес зміни швидкості при зменшенні МРС збудження тягового двигуна послідовного збудження?

Тема 6. Порівняння тягових двигунів постійного струму різних систем збудження

Вимоги, що пропонувані до тягових двигунів умовами роботи на ЕРС. Електрична й механічна стійкість. Розподіл навантаження між тяговими двигунами. Вплив коливань напруги в контактній мережі на роботу тягових двигунів. Регулювання швидкості, рекуперація, саморегулювання потужності тягового двигуна. Використання потужності тягового двигуна. Порівняльний аналіз особливостей тягових двигунів з різними системами збудження.

[1], с.81-102; [4], с.87-98; [5], с.73-85; [6], с.95-105; [7], с.31-35

Контрольні питання:

1. Перелічите основні вимоги, пропонувані до тягових двигунів умовами експлуатації рухомого складу на лінії.
2. Назвіть умови електричної й механічної стійкості роботи тягового двигуна.
3. Двигуни яких систем збудження електрично та механічно стійкі у всіх діапазоні навантажень і швидкостей?
4. Які двигуни електрично та механічно нестійкі?
5. Назвіть основні причини розбіжності характеристик однотипних тягових двигунів.
6. Які граничні значення розбіжності характеристик однотипних тягових двигунів, установлені ДСТУ 2582-81?
7. До чого призводить розходження в характеристиках тягових двигунів при їх послідовному й паралельному з'єднанні?
8. Від чого залежить ступінь нерівномірності розподілу навантажень при паралельному й послідовному з'єднанні тягових двигунів?
9. При якому електричному з'єднанні тягових двигунів наслідку буксування колісної пари особливо небезпечні?
10. Які двигуни (більш-менш швидкохідні) навантажують більше при паралельному чи при послідовному з'єднанні?
11. Якої умови варто дотримуватися для забезпечення однакової швидкості руху всіх колісних пар моторного трамвайного вагона?
12. Двигуни яких систем збудження найменше і найбільше чутливі до коливань напруги в контактній мережі?
13. Які двигуни найбільш прийнятні для ЕРС постійного струму з контакторно - реостатним керуванням?

Тема 7. Пуск поїзда

Процес пуску поїзда. Плавний реостатний пуск. Східчастий реостатний пуск. Розрахунок загального пускового опору для одночасного пуску декількох двигунів. Безреостатний пуск поїзда.

[1], с.104-129; [4], с.101-110; [5], с.89-101, 114-120; [6], с.38-45, 130-142; [7], с.52-69.

Контрольні питання:

1. Які вимоги до пуску поїзда?
2. Накресліть і поясніть діаграму плавного реостатного пуску поїзда.
3. Накресліть і поясніть діаграми зміни напруги, ЕРС і розподілу потужностей під час реостатного пуску одного тягового двигуна з незмінним пусковим струмом.
4. Що називають коефіцієнтом пуску поїзда?
5. Яким чином можна зменшити втрати енергії в пускових реостатах?
6. Що являють собою коефіцієнти нерівномірності пуску по струму, по силі тяги, по прискоренню? У якому співвідношенні вони перебувають?
7. Як вибирають максимальний пусковий струм?
8. Поясніть методику розрахунку й побудови діаграми східчастого реостатного пуску поїзда.

Тема 8. Механічне гальмування поїзда

Класифікація систем гальмування: колісно-колодкового, барабанного, дискового гальма. Розрахунок гальмової сили. Коефіцієнт тертя. Обмеження сили натискання колодок по зчепленню. Електромагнітні рейкові гальма. Рух поїзда при механічному гальмуванні.

[1], с.130-142; [4], с.56-66; [5], с.121-132; [6], с.45-49, 153-160; [7], с.138-151.

Контрольні питання:

1. Які системи механічного гальмування застосовують на рухомому складі міського електротранспорту?
2. Чому на сучасних трамвайних вагонах не застосовують колісно-колодкове гальмо?
3. Чому на трамвайних вагонах гальмовий барабан установлюють на валу двигуна або на вхідному валу редуктора?
4. Від чого і яким чином залежить значення коефіцієнта тертя гальмових колодок?
5. Що називають гальмовим коефіцієнтом рухомого складу?
6. Що називають коефіцієнтом натискання гальмових колодок?
7. Напишіть формулу розрахунку питомої гальмової сили поїзда.

8. Чим обмежують силу натискання гальмових колодок?
9. Які типи приводів механічних гальм застосовують на рухомому складі МЕТ?
10. Який вид мають гальмові характеристики механічних гальм?
11. Яка умова стійкості руху поїзда при механічному гальмуванні на спуску?
12. Поясніть пристрій і принцип дії рейкового гальма.

Тема 9. Електричне гальмування поїзда

Принцип електричного гальмування. Електричне гальмування ЕРС постійного струму з контакторно - реостатним управлінням. Реостатне гальмування при тягових машинах послідовного й змішаного збудження. Рекуперативне гальмування. Електричне гальмування ЕРС постійного струму з імпульсним керуванням.

[1], с. 143-184; [4], с. 110-138, 148-156; [5], с. 132-155; [6], с.49-54, 160-169; [7], с. 151-169.

Контрольні питання:

1. Тягові машини яких систем збудження придатні для рекуперативного гальмування при реостатно - контакторному і імпульсному управлінні рухомого складу?
2. Яка умова сталої роботи на мережі з постійною напругою генераторів постійного струму?
3. Завдяки якій властивості електричних машин можливе електричне гальмування?
4. Які переваги електричного гальмування в порівнянні з механічним гальмуванням?
5. Які недоліки властиві електричному гальмуванню?
6. Назвіть умови переходу тягового двигуна послідовного збудження в режим реостатного гальмування?
7. Назвіть умову електричної стійкості реостатного гальмування.
8. Як впливає величина гальмового опору й швидкості на процес самозбудження генератора?
9. Назвіть способи прискорення процесу самозбудження машини при реостатному гальмуванні.
10. Які обмеження накладають на гальмові характеристики при реостатному гальмуванні?
11. Поясніть методику розрахунку гальмових опорів.
12. Виходячи з яких міркувань вибирають межі коливань струму й середній гальмовий струм при реостатному гальмуванні з метою зупинки поїзда?
13. Намалюйте схеми включення тягових двигунів послідовного й змішаного збудження при реостатному гальмуванні.
14. Яким чином забезпечують усталену роботу й рівномірний розподіл навантажень між двигунами при реостатному гальмуванні?

Розділ 3. Тягові розрахунки

Тема 10. Розрахунок і побудова кривих руху

Методи інтегрування рівняння руху. Випрямлення профілю колії. Графоаналітичний і графічний способи розрахунку й побудови кривих руху. Гальмові завдання. Побудова кривих споживання поїздом струму. Вплив змін напруги в тяговій мережі на рух поїзда.

[2], с. 3-31; [4], с.213-229; [5], с. 156-178; [6], с.170-200; [7], с. 183-206.

Контрольні питання:

1. Який порядок (послідовність) випрямлення профілю?
2. Чим обумовлене обмеження довжин елементів профілю, що включені до випрямленої групи (ділянки)?
3. Що називають еквівалентним ухилом?
4. Які спуски називають шкідливими і які - нешкідливими?
5. Які тридцятимільйонної витрати енергії на рух поїзда враховують за допомогою введення еквівалентного ухилу?
6. У чому розходження середнього й еквівалентного ухилів?
7. Які способи кусочної апроксимації кривої діючої сили застосовують при інтегруванні рівняння руху методом кінцевих збільшень?
8. Чим відрізняється графічний спосіб побудови кривих руху від розрахунково-графічного?
9. Порядок побудови кривих руху на заданому перегоні розрахунково-графічним способом.
10. Порядок побудови кривих руху на заданому перегоні графічним способом.
11. Напишіть рівняння масштабів при графічному способі побудови кривих руху.
12. Назвіть основні завдання гальмових розрахунків.

Тема 11. Витрата енергії на рух поїзда

Енергетична характеристика руху поїзда. Визначення витрати енергії за кривими споживаного поїздом струму й графічним способом. Аналітичний розрахунок витрати енергії на рух поїзда. Економія й нормування витрати електричної енергії.

[2], с. 32-51; [4], с.229-241, 245-252; [5], с. 178-189, 192-196; [6], с.200-245; [7], с.222-227, 236-238, 265-281, 291-293.

Контрольні питання:

1. Назвіть основні складові витрат електричної енергії на рух поїзда.
2. Назвіть способи визначення витрати електроенергії на рух поїзда.
3. Поясніть порядок побудови кривих споживання поїздом струму.
4. Поясніть порядок побудови графічним способом кривої витрати електроенергії на рух поїзда.
5. Назвіть основні шляхи зниження витрати електроенергії на рух поїзда.
6. Як впливає швидкість руху поїзда на витрату енергії?
7. Як впливає на витрату енергії ослаблення збудження та зниження напруги на двигунах?
8. Який вплив роблять на витрату електроенергії величина гальмового уповільнення, швидкості початку гальмування, пускове прискорення, тривалість стоянок на зупинках?

Тема 12. Розрахунок нагрівання електротягового обладнання

Обмеження навантажень за нагрівання. Норми на тягові електричні машини. Особливості розрахунків нагрівання тягових двигунів. Теплоємність, тепловіддача, постійна часу нагрівання. Розрахунок теплових процесів в обмотці якоря тягового двигуна. Визначення теплових параметрів в кривих нагрівання й охолодження. Визначення теплових характеристик за номінальними даними тягових двигунів. Визначення нагрівання тягових двигунів методом побудови кривих нагрівання. Перевірка потужності тягових двигунів способом середнього квадратичного струму.

[2], с. 52-74; [4], с.253-267; [5], с. 196-203; [6], с.245-250; [7], с.241-264.

Контрольні питання:

1. Яка мета розрахунку нагрівання тягових двигунів?
2. Які припустимі граничні значення температур частин тягових електричних машин?
3. Які режими роботи для тягових двигунів установлені ДЕРЖСТАНДАРТ 2582-81 в якості номінальних?
4. Що називають тривалими й короткочасним номінальними режимами роботи тягових двигунів?
5. Яка частина тягового двигуна постійного струму є найнебезпечнішою за нагрівання?
6. Які спрощення приймають при розрахунку нагрівання тягових двигунів?
7. Напишіть рівняння балансу теплової енергії для однорідного твердого тіла, що еквівалентне з нагрівання обмотки якоря тягового двигуна.
8. Напишіть рівняння нагрівання обмотки якоря тягового двигуна.
9. Напишіть рівняння охолодження обмотки якоря тягового двигуна.
10. Чи впливає теплоємність на стале перевищення температури й на швидкість наростання температури обмотки якоря?

Розділ 4. Електрорухомий склад з безколекторними тяговими двигунами

Тема 13. Характеристики електрорухомого складу з асинхронними тяговими двигунами

Переваги безколекторних тягових двигунів. Системи з напівпровідниковими перетворювачами. Регулювання режимів роботи, статична стійкість, особливості конструкції, електромагнітний розрахунок асинхронних тягових двигунів (АТД).

[2], с. 75-100; [4], с.177-195; [8], с. 356-400.

Контрольні питання:

1. Назвіть переваги асинхронного тягового привода.
2. В яких енергетичних режимах може працювати АТД?
3. Назвіть види керованих інверторів, які застосовують в частотно-керованому асинхронному тяговому приводі.
4. Назвіть електромагнітні моменти, які в сталому режимі можуть мати місце в АТД.
5. З якою метою одночасно із частотою необхідно змінювати і напругу, що підведена до АТД?
6. Дотримання якої умови забезпечує найбільш економічну роботу АТД?
7. Співвідношенням яких параметрів АТД забезпечує оптимальний режим його роботи?
8. Напишіть загальний закон економічного регулювання режимів роботи електрорухомого складу з АТД.
9. Назвіть умови статичної стійкості роботи АТД у різних зонах регулювання швидкостей руху ЕРС.
10. Назвіть особливості конструкції АТД.
11. Назвіть порядок проведення електромагнітного розрахунку АТД.
12. Назвіть порядок розрахунку характеристик АТД.

Контрольні завдання до практичних занять

До виконання контрольних завдань варто приступити тільки після вивчення й засвоєння відповідного теоретичного матеріалу.

Контрольні завдання варто виконувати в учнівському зошиті або на стандартних аркушах паперу, добре зброшурованих і вкладених в обкладинку. На обкладинці або титульному аркуші вказати назву контрольного завдання, номер варіанта, прізвище й ініціали виконавця, номер навчальної групи.

Вирішення кожного завдання має містити її формулювання, повні розрахунки й необхідні короткі пояснення до них. Завдання варто виконувати в загальному вигляді й в отримані кінцевої (розрахункової) формули підставляти кількісні значення всіх величин, після чого необхідно написати результат розрахунку й вказати одиницю його виміру.

Всі записи варто виконувати акуратно, чітким написанням, без застосування чорнила або пасти червоного кольору.

Контрольне завдання № 1

Студент виконує той варіант контрольного завдання, що збігається з останньою цифрою його навчального шифру. Номери завдань для відповідного варіанта наведені в табл. 1.

Таблиця 1 - Варіанти контрольних завдань

Номер варіанта	Номери завдань контрольних завдань							
1	1	6	16	26	31	35	41	47
2	2	7	17	27	32	36	42	48
3	3	8	18	28	33	37	43	45
4	4	9	19	29	34	38	44	46
5	5	10	20	30	31	39	45	47
6	1	11	21	26	32	40	46	48
7	2	12	22	27	33	37	47	10
8	3	13	23	28	34	38	48	17
9	4	14	24	29	31	39	49	45
0	5	15	25	30	33	40	50	48

Тексти завдань до контрольних завдань наведені нижче. Наприкінці тексту кожного завдання зазначений порядковий номер рекомендованої літератури, глави й параграфи цієї літератури, вивчення яких дозволить вирішити завдання.

Завдання контрольних завдань

Задача 1. Визначити коефіцієнт інерції K_u , наведену масу m_{np} і еквівалентну масу m_e обертових частин тролейбуса ЗИУ-9, що має фізичну масу $m=9,5$ т і, що рухається під дією прискорювальної сили $F_v=11$ кН із прискоренням $a=1$ м/с².

[1],гл. 1; [4], §1.1.

Задача 2. Визначити наведену масу m_{np} , фізичну масу m , вага G і коефіцієнт інерції обертових частин K_u моторного трамвайного вагона, що має еквівалентну масу обертових частин $m_e=2,5$ т і, що рухається під дією прискорювальної сили $F_v=30$ кН із прискоренням $a=1,2$ м/с².

[1],гл. 1; [4], §1.1.

Задача 3. Визначити коефіцієнт інерції K_u і еквівалентну масу m_e обертових частин трамвайного поїзда, що складає з моторного вагона масою $m_m=16$ т і двох причіпних вагонів, кожний з яких має масу $m_n=10$ т. Коефіцієнт інерції обертових частин моторного й причіпного вагонів прийняти відповідно рівними 1,12 і 1,08.

[1],гл. 1; [4], §1.1.

Задача 4. Визначити коефіцієнт інерції обертових частин причіпного чотиривісного вагона, якщо його маса $m=14$ т, а маса однієї колісної пари $m_b=0,45$ т. Середнє значення відносин радіуса інерції колісної пари до радіуса коліс дорівнює $\rho_b/R_b=0,75$.

[1],гл. 1; [4], §1.1.

Задача 5. Визначити передатне число редуктора моторного трамвайного вагона, якщо його фізична маса $m=28$ т, коефіцієнт інерції обертових частин $K_u=1+\gamma=1,14$, маса однієї колісної пари $m_k=0,45$ т, маса якоря тягового двигуна й пов'язаних з ним елементів редуктора $m_y=0,1$ т, середнє значення відносин радіусів інерції колісної пари $\rho_{до}$ і якоря ρ_y до радіуса коліс R_k відповідно дорівнює: $\rho_{до}/R_k=0,75$, $\rho_y/R_k=0,4$.

[1],гл. 1; [4], §1.1.

Задача 6. Визначити найбільшу силу тяги трамвайного вагона типу КТМ-5М с пасажирями й без пасажирів, реалізовану без буксування коліс. Маса тари вагона $m_b=18$ т, місткість 140 чоловік, середня маса пасажиря 75 кг. Коефіцієнт зчеплення $\mu=0,16$.

[1],гл. 2; [4], §2.1.

Задача 7. Визначити найбільшу силу тяги тролейбуса типу ЗІУ-9 з пасажирами й без пасажирів, реалізовану без буксування коліс. Маса тари тролейбуса ЗІУ-9 $m_b=9,5\text{т}$, місткість 125 чоловік, середня маса пасажирів 75 кг, коефіцієнт зчеплення $\psi=0,35$.

[1], гл. 2; [4], §2.1.

Задача 8. Визначити найбільшу припустиму зі зчеплення гальмову силу трамвайного вагона типу КТМ-5М з пасажирами й без пасажирів. Маса тари вагона $m_b=18\text{т}$, місткість 140 чоловік, середня маса пасажирів 75 кг, коефіцієнт зчеплення $\psi=0,16$.

[1], гл. 2; [4], §2.1.

Задача 9. Визначити найбільшу припустиму зі зчеплення гальмову силу тролейбуса ЗІУ-9 з пасажирами й без пасажирів. Маса тари тролейбуса $m_b=9,5\text{т}$, місткість 125 чоловік, середня маса пасажирів 75 кг, коефіцієнт зчеплення $\psi=0,35$.

[1], гл. 2; [4], §2.1.

Задача 10. Визначити потужність механічних втрат у тягових двигунах і механічних передачах (редукторах) моторного трамвайного вагона типу КТМ-5М, що має масу $m_b=28\text{т}$ і рухається зі швидкістю $V=30\text{км/год}$.

[1], гл. 3; [4], §3.2.

Задача 11. Визначити гальмову силу B , за якої моторний трамвайний вагон типу КТМ-5М масою $m=25\text{т}$ на спуску з ухилом.

$i = -50\text{‰}$ буде рухатися з найбільшою припустимою швидкістю $V_{\max}=25\text{ км/год}$.

[1], гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1, 3.2, 3.3.

Задача 12. Визначити, на спуску якої крутості трамвайний вагон масою $m=25,5\text{т}$ буде рухатися з постійною швидкістю, якщо сума гальмової сили й сили основного опору руху $B+W_o=10\text{кН}$.

[1], гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 13. Визначити, на спуску якої крутості моторний трамвайний вагон типу КТМ-5М масою 25т буде рухатися з постійною швидкістю $V=15\text{ км/год}$, якщо гальмова сила $B=20\text{кН}$.

[1], гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 14. Визначити додатковий опір руху $W_{\text{доп}}$ трамвайного вагона типу КТМ-5М масою 24т при русі на криволінійному спуску з ухилом $i = -10\text{‰}$ і радіусом кривизни $R_{\text{кр}} = 150\text{м}$.

[1], гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 15. Для тролейбуса типу ЗІУ-9 масою 15т визначити опір руху від ухилу довжиною 500м з висотами на початку й наприкінці відповідно $h_n=2\text{м}$ і $h_k=12\text{м}$. Визначити також збільшення потенційної енергії поїзда наприкінці підйому.
[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 16. Визначити повний опір руху для трамвайного вагона типу КТМ-5М масою 25т при русі в режимі тяги на криволінійному підйомі з ухилом $i=20\%$ і радіусом кривизни $R_{кр}=150\text{м}$ зі швидкістю $V=20\text{ км/год}$.
[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 17. Визначити потужність механічних втрат у тяговому двигуні й механічній передачі тролейбуса типу ЗІУ-9 при швидкості руху $V=30\text{ км/год}$. Маса тролейбуса $m=15\text{т}$.
[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 18. Визначити сталу швидкість руху моторного трамвайного вагона типу КТМ-5М у режимі вибігу на прямолінійному спуску з ухилом $i=-13\%$.
[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 19. Визначити сталу швидкість руху тролейбуса типу ЗІУ-9 у режимі вибігу на спуску з ухилом $i=-19\%$.
[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 20. Визначити сталу швидкість руху моторного трамвайного вагона типу КТМ-5М у режимі вибігу на криволінійному спуску з ухилом $i=-20\%$ і радіусом кривизни $R_{кр}=450\text{м}$.
[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 21. Визначити повний опір руху для тролейбуса ЗІУ-9 масою 15т при русі в режимі тяги на підйомі з ухилом $i=10\%$ зі швидкістю $V=30\text{ км/год}$.
[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 22. Визначити питому силу електричного гальмування, за якого трамвайний вагон типу КТМ-5М при русі на криволінійному спуску з ухилом $i=-20\%$ і радіусом кривизни $R_{кр}=75\text{м}$ не перевищить максимально припустиму швидкість $V_{\text{max.кр}}=20\text{ км/год}$.
[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 23. Визначити пускову силу тяги F_n трамвайного вагона типу КТМ-5М і тролейбуса типу ЗІУ-9 у момент рушання ($V=0$) на прямолінійному підйомі з ухилом $i=2\%$, якщо пускове прискорення $a_n=0,4\text{ м/с}^2$. Вага трамвая 250кн, наведена маса 28,6т. Вага тролейбуса 180 кн, наведена маса 21 т.
[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 24. Визначити прискорення трамвайного вагона типу КТМ-5М і тролейбуса типу ЗІУ-9 на прямій і горизонтальній ділянці шляху, якщо при швидкості $V=50$ км/год сила тяги $F=5000$ Н. Вага трамвая $G=250$ кН, наведена маса $m_{\text{п}}=28,6$ т. Вага тролейбуса $G=150$ кН, наведена маса $m_{\text{п}}=17,5$ т.

[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 25. Визначити величину прискорення трамвайного вагона типу КТМ-5М у момент рушання ($V=0$) на криволінійному спуску з ухилом $i=-2\%$ і радіусом кривизни $R_{\text{кр}}=90$ м, якщо пускова сила тяги $F_{\text{п}}=10$ кН. Вага трамвая $G=250$ кН, наведена маса $m_{\text{п}}=28,6$ т.

[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 26. Визначити, при якому значенні коефіцієнта зчеплення ψ буде неможлива реалізація гальмової сили $B=29$ кН, що розвивається при електричному гальмуванні трамвайного вагона вагою $G=235$ кН.

[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 27. При механічному гальмуванні на прямолінійному спуску з ухилом $i=-39,5\%$ трамвайний вагон типу КТМ-5М рухається зі сталою швидкістю $V_y=10$ км/год. Визначити величину гальмівної сили вагона, якщо його вага $G=235$ кН.

[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 28. Визначити, чи можна зупинити трамвайний вагон типу КТМ-5М на прямолінійному спуску з ухилом $i=-100\%$, якщо гальмова сила вагона $B=20$ кН, швидкість початку гальмування $V_{\text{т}}=30$ км/год. Вага вагона $G=240$ кН, коефіцієнт інерції обертових частин вагона $1+\gamma=1,12$.

[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 29. Визначити пускову силу тяги $F_{\text{п}}$ трамвайного вагона типу КТМ-5М і тролейбуса типу ЗІУ-9 у момент рушання з місця ($V=0$) на прямолінійному спуску з ухилом $i=-2\%$, якщо початкове значення пускового прискорення $a_{\text{нач}}=0,3$ м/с². Вага трамвая 220кН, тролейбуса - 150кН, коефіцієнт інерції обертових частин трамвая й тролейбуса $1+\gamma=1,12$.

[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 30. Визначити величину гальмового уповільнення $a_{\text{т}}$ у момент початку механічного гальмування трамвайного вагона типу КТМ-5М на прямолінійному спуску з ухилом $i=-5\%$, якщо гальмова сила $B=20$ кН, вага вагона $G=235$ кН, коефіцієнт інерції обертових частин вагона $1+\gamma=1,12$, швидкість початку гальмування $V_{\text{т}}=30$ км/год.

[1],гл. 1,3; [4], §1.1, 3.1 - 3.3.

Задача 31. Визначити величину припустимого зі зчеплення максимального прямолінійного підйому, що може подолати трамвайний вагон типу КТМ-5М зі швидкістю $V=30$ км/год при коефіцієнті зчеплення коліс із рейками $\psi=0,16$.

[1], гл. 1,2,3; [4], §1.1, 2.1,3.1 - 3.3; [5], §22.

Завдання 32. Визначити величину припустимого зі зчеплення максимального прямолінійного підйому, на якому можливе рушання з місця ($V=0$) трамвайного вагона типу КТМ-5М з прискоренням $a_{\text{нач}}=0,4$ м/с², якщо коефіцієнт зчеплення коліс із рейками $\psi=0,16$, коефіцієнт інерції оберткових частин вагона $1+\gamma=1,14$.

[1], гл. 1,2,3; [4], §1.1, 2.1,3.1 - 3.3; [5], §22.

Задача 33. Визначити величину припустимого зі зчеплення максимального підйому, що може перебороти тролейбус типу ЗІУ-9 зі швидкістю 30 км/год при коефіцієнті зчеплення коліс із дорожнім покриттям $\psi=0,35$.

[1], гл. 1,2,3; [4], §1.1, 2.1,3.1 - 3.3; [5], §22.

Задача 34. Визначити величину припустимого зі зчеплення максимального підйому, на якому можливе рушання з місця ($V=0$) тролейбуса типу ЗІУ-9 із прискоренням $a_{\text{нач}}=0,3$ м/с², якщо коефіцієнт зчеплення коліс із дорожнім покриттям $\psi=0,35$, коефіцієнт інерції оберткових частин тролейбуса $1+\gamma=1,15$.

[1], гл. 1,2,3; [4], §1.1, 2.1,3.1 - 3.3; [5], §22.

Задача 35. Визначити величину з a_t і гальмовий шлях L_t трамвайного вагона типу КТМ-5М при екстреному гальмуванні рейковим гальмом на прямій і горизонтальній ділянці шляху. Швидкість початку гальмування $V_t=30$ км/год, вага вагона $G=250$ кН, коефіцієнт інерції оберткових частин вагона $1+\gamma=1,12$, середнє значення коефіцієнта тертя гальмового черевика об рейку $\phi_p=0,14$, площа зіткнення з рейкою однієї полюсної колодки $S=0,2$ м², магнітна індукція в зазорі між колодкою і рейкою $B_\delta=1,2$ Тл.

[1], гл. 1,3,4; [4], §1.1, 3.1 - 3.3,4.4.

Задача 36. Визначити величину з a_t трамвайного вагона типу КТМ-5М у початковий момент екстреного гальмування рейковим гальмом на прямій і горизонтальній ділянці шляху. Швидкість початку гальмування $V_t=50$ км/год, вага вагона $G=230$ кН, коефіцієнт інерції оберткових частин $1+\gamma=1,12$, площа зіткнення однієї полюсної колодки з рейкою $S=0,18$ м², магнітна індукція в зазорі між черевиком і рейкою $B_\delta=1,3$ Тл, коефіцієнт тертя гальмівної колодки об рейку визначається з виразу

$$\phi_p = 0,19 \frac{10,8 \cdot V + 100}{21,6 \cdot V + 100}.$$

[1], гл. 1,3,4; [4], §1.1, 3.1 - 3.3,4.4.

Задача 37. Визначити величину припустимого зі зчеплення максимального прямолінійного спуска, на якому можна загальмувати трамвайний вагон типу КТМ-5М при електричному гальмуванні із уповільненням 1 м/с^2 , якщо коефіцієнт зчеплення коліс із рейками $\psi=0,15$, коефіцієнт інерції обертових частин вагона $1+\gamma=1,12$.

[1], гл. 1,2,3; [4], §1.1, 2.1,3.1 - 3.3; [5], §22.

Задача 38. Визначити величину припустимого максимального криволінійного спуска, на якому трамвайний вагон типу КТМ-5М у режимі електричного гальмування буде рухатися рівномірно зі швидкістю $V=10\text{ км/год}$, якщо коефіцієнт зчеплення коліс із рейками $\psi=0,15$, коефіцієнт інерції обертових частин вагона $1+\gamma=1,12$, радіус кривизни спуска $R_{\text{кр}}=150\text{ м}$.

[1], гл. 1,2,3; [4], §1.1, 2.1,3.1 - 3.3; [5], §22.

Задача 39. Визначити величину припустимого зі зчеплення максимального спуска, на якому тролейбус типу ЗІУ-9 буде рухатися при електричному гальмуванні із уповільненням 1 м/с^2 , якщо коефіцієнт зчеплення коліс із полотном дороги $\psi=0,35$, коефіцієнт інерції обертових частин $1+\gamma=1,12$.

[1], гл. 1,2,3; [4], §1.1, 2.1,3.1 - 3.3; [5], §22.

Задача 40. Визначити величину припустимого зі зчеплення максимального спуска, на якому тролейбус типу ЗІУ-9 у режимі електричного гальмування буде рухатися рівномірно зі швидкістю $V=10\text{ км/год}$, якщо коефіцієнт зчеплення коліс із дорожнім покриттям $\psi=0,35$, коефіцієнт інерції обертових частин $1+\gamma=1,12$.

[1], гл. 1,2,3; [4], §1.1, 2.1,3.1 - 3.3; [5], §22.

Задача 41. Визначити найбільшу припустиму зі зчеплення силу натискання на одну гальмову колодку барабанного гальма тролейбуса, якщо коефіцієнт натискання гальмових колодок $\delta=2$, діаметр гальмового барабана $D_6=400\text{ мм}$, діаметр рушійного колеса $D_k=1070\text{ мм}$, вага тролейбуса $G=150\text{ кН}$.

[1], гл. 8; [4], §4.2; [6], §6.2.

Задача 42. Визначити гальмову силу B , що створена тяговим двигуном послідовного збудження при реостатному гальмуванні, якщо при струмі якоря $I_T=200\text{ А}$ та швидкості $V=20\text{ км/год}$ електрорушійна сила якоря $E=600\text{ В}$. Сумарні магнітні та механічні втрати у двигуні й передачі

$$\Delta P_T = (\Delta P_M + \Delta P_{\text{мх}} + \Delta P_3) = 4\text{ кВт}.$$

[1], гл. 4,9; [4], §5.1, 6.2, 6.3.

Задача 43. Визначити рівнодіючу (сумарну) гальмову силу тролейбуса ЗІУ-9 масою $m=15\text{т}$, якщо при русі на спуску з ухилом $i=-20\%$ при швидкості $V=30\text{км/год}$ струм якоря двигуна ДК-211 А, що працює в режимі реостатного гальмування, $I_T=350\text{ А}$, ЕДС $E=800\text{ В}$, сумарні магнітні й механічні втрати у двигуні та передачі

$$\Delta P_T = (\Delta P_M + \Delta P_{MX} + \Delta P_3) = 5\text{ кВт.}$$

[1], гл. 4,9; [4], §5.1, 6.2, 6.3.

Задача 44. Визначити найбільш припустиму зі зчеплення силу натискання K_{\max} на одну гальмову колодку барабанного гальма трамвайного вагона типу КТМ-5М, якщо коефіцієнт натискання гальмових колодок $\delta = 0,6$, передатне число редуктора $\mu = 7,143$, діаметр рушійного колеса $D_k=0,7\text{м}$, діаметр гальмового барабана $D_b=200\text{ мм}$, ККД механічної передачі (редуктора) $\eta_3 = 0,96$, маса вагона $m=25\text{т}$, число колодок, що притискаються до гальмового барабана, $n=2$.

[1], гл. 8; [4], §4.2; [6], §6.2.

Задача 45. У номінальному режимі роботи ЕРС якоря тягового двигуна $E_{\text{ном}}=0,9U_{\text{ном}}$. Визначити, як зміниться струм якоря I і електромагнітний момент $M_{\text{эм}}$ двигуна стосовно їхніх номінальних значень $I_{\text{ном}}$ і $M_{\text{эм.ном}}$, якщо магнітний потік зменшиться до значення $\Phi=0,8\Phi_{\text{ном}}$, а частота обертання (швидкість руху) залишиться попередньою, що дорівнює номінальному значенню ($n=n_{\text{ном}}=\text{const}$).

[1], гл. 5; [4], §5.2.

Задача 46. Два тягових двигуни ДК-261А в відповідності зі своїми характеристиками при $U=U_{\text{ном}}=275\text{ В}$ та $I=I_{\text{ном}}=250\text{ А}$ мають частоти обертання 1430 і 1480 об/хв. Яка буде частота обертання двигунів при їхньому послідовному включенні до напруги контактної мережі $U_k=550\text{ В}$ та струмі навантаження $I=I_{\text{ном}}=250\text{ А}$? В якому співвідношенні будуть перебувати їх ЕРС і електромагнітні моменти (сили тяги)?

[1], гл. 6; [4], §5.3.

Задача 47. Тяговий двигун послідовного збудження ДК-211Б має наступні номінальні дані: $P_{\text{ном}}=150\text{ кВт}$, $U_{\text{ном}}=550\text{ В}$, $n_{\text{ном}}=1860\text{ об/хв}$, опір двигуна при 115°С $r_{115^\circ}=0,12\text{ Ом}$, номінальний ККД $\eta_{\text{ном}}=91\%$.

Як зміниться струм якоря двигуна I , ЕРС якоря E , корисна потужність на валу P , частота обертання n і ККД η , якщо напруга мережі знизиться на 20%, а момент на валу двигуна залишиться колишнім (не зміниться). Зміною внутрішнього моменту опору двигуна ΔM зневажити.

[1], гл. 4,5; [4], §5.1, 5.2.

Задача 48. Тяговий двигун послідовного збудження ТЕ-022 має наступні номінальні дані: $P_{\text{ном}}=45$ кВт, $U_{\text{ном}}=300$ В, $n_{\text{ном}}=1750$ об/хв, опір двигуна $r_{115^\circ}=0,152$ Ом, число паралельних гілок обмотки якоря $2a=2$, число пар полюсів $p=2$, число провідників обмотки якоря $N=290$, номінальний ККД двигуна $\eta_{\text{ном}}=91\%$.

Визначити струм якоря I , ЕРС якоря E , магнітний потік Φ , потужність на валу P , частоту обертання n і ККД двигуна η при зниженні напруги на 25% і незмінному моменті на валу. Зміною внутрішнього моменту опору двигуна ΔM зневажити.

[1], гл. 4,5; [4], §5.1, 5.2.

Задача 49. Визначити силу тяги F моторного трамвайного вагона, якщо потужність на валу тягового двигуна $P=40$ кВт, частота обертання $n=1200$ об/хв, передаточне число редуктора $\mu=7,17$, коефіцієнт корисної дії редуктора (передачі) $\eta_z=0,96$, діаметр рушійних коліс $D_k=0,7$ м.

[1], гл. 1,4; [4], §1.2, 5.1.

Задача 50. Задані характеристики швидкості $V(I)$ і сили тяги $F_k(I)$ двигуна, що відповідають діаметру ведучого колеса $D_k=0,7$ м і передаточному числу редуктора $\mu=7,143$ перерахувати на діаметр ведучого колеса $D_{k1}=0,68$ м і передаточне число $\mu_1=6,71$. Характеристики $V(I)$ і $F_k(I)$ наведені нижче.

$I, \text{ A}$	100	200	250	300
$V, \text{ км/год}$	56	33,5	28,5	26,5
$F_k, \text{ Н}$	3500	8000	10250	12500

Задані та отримані характеристики побудувати у загальних осях координат.

[1], гл. 1,4; [4], §1.2, 5.1.

Контрольне завдання № 2

Розрахувати значення величин, зазначених у таблиці 2 знаком питання, що характеризують рух тролейбуса в режимі тяги з постійною швидкістю.

У таблиці 2 прийняті наступні позначення:

D_k – діаметр рушійних і підтримуючих коліс, м;

$\Delta P_{3\%} = 100 \cdot \Delta P_3 / P_1$ – втрати потужності в механічній передачі, %;

η_d – ККД – на валу тягового двигуна, у.о.;

η_3 – ККД – механічної передачі, у.о.;

η – ККД тягового двигуна, віднесений до обода рушійних коліс, у.о.;

$\mu = w / w_k$ – передаточне число механічної передачі;

P_1 – підведена до двигуна потужність, кВт;

P_2 – віддана двигуном (корисна) потужність, кВт;

P – потужність на ободі рушійних коліс, кВт;

M – обертаючий момент на валу двигуна, Н·м;

V – поступальна швидкість руху тролейбуса, км/ год;

w – кутова швидкість вала двигуна, рад/с;

m – маса тролейбуса, т;

$m_{пр}$ – приведення до швидкості V маса тролейбуса, т;

K_n – коефіцієнт інерції обертових частин тролейбуса;

$J_{я}$ – момент інерції якоря двигуна, включаючи частини механічної передачі, жорстко пов'язані з його валом, кг·м²;

J_k – момент інерції підтримуючих і рушійних коліс із півосями й жорстко пов'язаними з ними елементами механічної передачі, кг·м²;

$J_{пр}$ – наведений до кутової швидкості вала двигуна момент інерції тролейбуса, кг·м²;

W – повний опір руху тролейбуса, кН;

$w_0 = 12 + 0,004 \cdot V^2$ – питомий основний опір руху тролейбуса, Н/кН;

i – ухил профілю колії, ‰.

Методичні вказівки

При виконанні даного контрольного завдання варто керуватися матеріалом, що викладений в [1], с.9-16, 39-49, 52-55 і [3], с. 4-6, 15-17, 25-32.

Приклад розрахунку [9], с.80-83.

Таблиця 2 - Вихідні дані до розрахунку параметрів тягового електроприводу та руху тролейбуса

№	D_k	ΔP_3	η_d	η_3	η	μ	P_1	P_2	P	M	V	ω	m	m_{np}	K_n	J_a	J_k	J_{np}	W	w_0	i
	м	%	у.о.	у.о.	у.о.	у.о.	кВт	кВт	кВт	Н·м	км/год	Рад/с	т	т	у.о.	кг·м ²	кг·м ²	кг·м ²	кН	Н/кН	%
1	1,07	6	0,85	?	?	11,4	?	?	?	?	40	?	18	?	?	3,2	70	?	5	?	?
2	1,10	?	?	0,94	?	11,3	68	?	55	?	45	?	16	?	?	3,5	65	?	?	?	?
3	1,10	5	0,84	?	?	12,0	?	?	52	220	?	250	20	?	?	3,4	75	?	?	?	?
4	1,07	?	?	0,95	?	12,0	60	?	?	?	36	?	22	?	1,1	?	80	?	?	?	5
5	1,07	4,5	0,82	?	?	?	?	?	?	?	?	240	18	?	?	3,2	?	43	?	18,4	9,9
6	?	5	0,83	?	?	11,4	?	?	?	?	30	173	17	?	?	?	70	45	?	?	7
7	?	?	?	0,94	?	11,3	67	?	?	?	?	257	16	?	?	3,3	68	?	?	20,1	8
8	1,1	5	0,84	?	?	12,0	?	?	53	220	?	250	20	?	?	3,3	77	?	?	?	?
9	1,07	6	0,85	?	?	11,3	?	?	?	?	?	?	19	?	?	3,1	70	?	6	22	?
0	1,1	4,6	0,83	?	?	?	?	?	50	?	?	235	18	?	?	3,0	80	?	?	18,4	?

Методичні вказівки до курсової роботи

Курсова робота складається з пояснювальної записки й креслень. Текст пояснювальної записки має бути написаний темним чорнилом або пастою, грамотно, без скорочення слів. Усі графіки виконують на міліметровому папері чорним олівцем на форматах А3 (297x420) і А4 (210x297).

Програма завдання на курсову роботу складається з десяти пунктів, для кожного з яких надані методичні вказівки.

Завдання на курсову роботу видають кожному студентові індивідуально.

Технічні дані й характеристики тягових двигунів послідовного збудження, установлюваних на трамваях і тролейбусах, наведені в табл. 3 і 4.

На підставі технічних даних і характеристик тягових двигунів, що наведені в табл. 3, 4, виконати наступні пункти завдання.

Задача 1. Для номінального (часового) режиму роботи тягового двигуна визначити: швидкість $V_{\text{ном}}$, ККД часового режиму $\eta_{\text{ч}}$, електрорушійну силу (ЕРС) $E_{\text{ном}}$, електромагнітну потужність $P_{\text{ем.ном}}$, номінальну кутову швидкість $\omega_{\text{ном}}$, електромагнітний момент $M_{\text{эм.ном}}$, електромагнітну силу тяги $F_{\text{эм.ном}}$, обертальний момент на валу $M_{\text{ном}}$, електричні втрати потужності в обмотках (коло якоря) $\Delta P_{\text{э ном}}$, магнітні та механічні втрати $(\Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{мх}})_{\text{ном}}$, внутрішню втрату моменту $\Delta M_{\text{ном}}$.

[1], гл. 4; [4], §5.1; [5], §4.1; 4.2.

Методичні вказівки

Розв'язання задачі базується на знанні студентами основних формул і рівнянь, за допомогою яких можуть бути пояснені фізичні процеси різних режимів роботи електричної машини і які є вихідними для інших математичних виразів, що описують роботу машини. Такими формулами є:

1. Рівняння напруг для кола якоря двигуна [1, вирази (4.3), (4.11)];
2. Вираз для ЕРС [1, вирази (4.5), (4.6), (4.9)];
3. Рівняння потужностей [1, вирази (4.18)-(4.19)] і моментів [1, вирази (4.14)-(4.17)].

Задача 2. Характеристики тягового двигуна $V(I)$, $F_k(I)$, $F_k(V)$, що відповідає номінальній напрузі та повному збудженні (табл.4), приблизно перерахувати на ослаблене на 50% збудження. Характеристики, що відповідають повному й ослабленому полю, побудувати в загальних осях координат.

[1], гл. 5; [3], гл. 5; [4], §5.2; [5], §5.4.

Таблиця 3 – Основні технічні дані тягових двигунів та рухомого складу

Параметри	ТЕД трамвайних вагонів					ТЕД тролейбусів				
	ДК-259Г4	ДК-259Г6	ДК-261А	ТЕ-022	ТЕ-022А	ДК-207И	ДК-211А	ДК-211Б	ДК-213Б	ДК-220
Напруга на колекторі U_d , В	275	275	275	300	300	550	550	550	550	550
Потужність на валу часового режиму $P_{\text{ч}}$, кВт	45	55	60	40	43	100	150	150	115	150
Струм якоря часового режиму $I_{\text{ч}}$, А	190	230	250	150	160	200	300	300	232	300
Частота обертання $n_{\text{ч}}/n_{\text{max}}$, об/хв	$\frac{1250}{4050}$	$\frac{1460}{4050}$	$\frac{1460}{4050}$	$\frac{1780}{4200}$	$\frac{1700}{4200}$	$\frac{1780}{3900}$	$\frac{1750}{3900}$	$\frac{1860}{3900}$	$\frac{1430}{3900}$	$\frac{1800}{3900}$
Опір кола якоря при 115°C , Ом	0,1739	0,1261	0,105	0,1124	0,1134	0,2067	0,1208	0,1229	0,1972	0,1314
Передатне число механічної передачі μ	7,143	7,143	7,143	7,43	7,14	10,699	11,33	10,699	10,699	10,699
Діаметр рушійних коліс D_k , м	0,71	0,71	0,71	0,7	0,7	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
Коефіцієнт нерівномірності струму k_I	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

Таблиця 4 – Характеристики швидкості, сили тяги та ККД на ободі рушійного колеса при номінальній напрузі і повному полі тягових двигунів

I, А	ТЕД трамвайних вагонів														
	ДК-259Г4			ДК-259Г6			ДК-261А			ТЕ-022			ТЕ-022А		
	V, км/год	F _{кН}	η, %	V, км/год	F _{кН} , Н	η, %	V, км/год	F _{кН} , Н	η, %	V, км/год	F _{кН} , Н	η, %	V, км/год	F _{кН} , Н	η, %
60	62,8	1766	82,2	-	-	-	-	883	70,0	-	-	-	48,5	1374	90,5
100	45,0	3924	86,9	28,8	3040	86,0	34,5	2845	84,8	38,6	2720	91,2	35,0	2806	90,8
150	36,7	7161	88,0	24,8	5435	88,0	28,0	5199	88,0	31,6	4730	90,1	28,5	5062	89,5
200	31,7	10418	86,7	22,0	8044	87,5	24,3	7750	87,8	27,9	7000	88,3	25,0	7613	87,0
250	28,5	13950	85,0	20,0	10790	86,8	21,8	10261	86,5	25,4	9270	86,2	22,7	10163	84,0
300	25,5	17462	82,0	19,2	13440	85,5	20,2	12753	84,5	23,4	11990	84,2	21,5	12753	80,5
350	-	-	-	18,5	16088	83,8	19,4	15304	81,5	21,8	-	82,5	-	-	
400	-	-	-	18,0	18835	81,5	-	-	-	-	-	-	-	-	
I, А	ТЕД тролейбусів														
	ДК-207И			ДК-211А			ДК-211Б			ДК-213Б			ДК-220		
	V, км/год	F _{кН}	η, %	V, км/год	F _{кН} , Н	η, %	V, км/год	F _{кН} , Н	η, %	V, км/год	F _{кН} , Н	η, %	V, км/год	F _{кН} , Н	η, %
50	55,0	1079	75,0	-	-	-	40,0	4316	84,5	-	-	-	65,0	-	-
100	32,1	4513	89,2	40	4316	86,0	31,6	9143	88,5	35,0	4316	80,0	40,0	4316	85,8
150	25,0	8711	90,0	31,8	8633	89,0	27,0	13734	89,6	27,5	9143	88,7	31,5	8437	89,4
200	21,4	13420	89,2	27,5	13145	89,5	24,0	18247	89,5	24,0	14323	89,5	27,2	13145	89,8
250	19,2	18247	88,3	25,2	17893	89,1	22,0	23152	89,1	21,5	19620	88,5	24,5	17972	89,0
300	17,4	23544	87,0	22,7	23152	88,5	20,9	27821	88,5	19,9	24911	87,0	22,8	23152	88,5
350	15,8	29038	85,1	21,5	28253	87,5	20,0	32373	87,4	19,0	30019	85,2	21,5	28253	87,3
400	15,0	34924	83,0	21,0	33550	86,2	19,5	34727	86,0	18,3	35316	83,1	20,9	33590	85,8

Методичні вказівки

Для перерахування та побудови швидкісної характеристики, що відповідає ослабленому збудженню, необхідно абсциси кожної точки кривої, що відповідає повному збудженню, збільшити в $1/\alpha$ раз, де α - коефіцієнт регулювання збудження.

Для перерахування й побудови характеристики сили тяги, що відповідає ослабленому збудженню, необхідно абсциси й ординати кожної точки характеристики, що відповідає повному полю ($\alpha = 1$), збільшити в $1/\alpha$ раз.

Тягова характеристика $F_k(V)$, що відповідає ослабленому полю, будується за допомогою збільшення в $1/\alpha$ раз ординат усіх точок характеристики, що відповідає повному полю.

Дані розрахунку представити у вигляді таблиць.

Задача 3. Характеристики тягового двигуна $V(I)$, $F_k(I)$, $F_k(V)$, $\eta(I)$ відповідні номінальній напрузі та повному збудженню (табл.4), перерахувати на напругу, на 20% менше номінального значення. Характеристики, що відповідають номінальній і зниженій напрузі, побудувати в загальних осях координат.

[1], гл. 5; [3], гл. 5; [4], §5.2; [5], §5.3.

Методичні вказівки

При перерахуванні швидкісної характеристики на знижену напругу необхідно мати на увазі, що у двигуна послідовного збудження при різних напругах і однакових струмах якорі однакові й магнітні потоки.

Характеристика сили тяги двигуна послідовного збудження практично не залежить від напруги, тому що не залежить від напруги магнітний потік.

Тягову характеристику двигуна будують на підставі значень швидкості, що відповідають зниженій напрузі, і значень сили тяги при номінальній напрузі (табл.4) і відповідних значеннях струму якоря.

Характеристику КПД двигуна перерахувати за формулою:

$$\eta_1 = 1 - (1 - \eta) \frac{U_1}{U} - \frac{I \cdot r}{U_1} \left(1 - \frac{U_1^2}{U^2} \right),$$

де η - значення ККД при струмі I і напрузі $U = U_{\text{ном}}$;

U_1 – знижена напруга.

Дані розрахунків представити у вигляді таблиць.

Задача 4. Побудувати пускову діаграму східчастого реостатного пуску поїзду (трамвая, тролейбуса), визначити опору щаблів пускового реостата й коефіцієнт нерівномірності пуску за силою тяги K_f . Значення максимального пускового струму прийняти рівним $I_{\text{п.макс}} = 1,2 I_{\text{ч}}$. Розрахунок пускових опорів зробити для схем без перегрупування двигунів.

[1], гл. 7; [4], §6.1; [5], §5.1.

Методичні вказівки

Пускову діаграму (рис.1) побудувати в обраних масштабах швидкості m_v , струму m_i , сили тяги m_f , опору m_r . Рекомендують прийняти наступні значення масштабів: $m_v = 4$ мм/(км/год), $m_i = 0,4$ мм/А, $m_f = 0,004$ мм/Н, $m_r = 80$ мм/Ом.

Характеристики швидкості $V(I)$ і сили тяги $F_k(I)$ побудувати за даними табл.4.

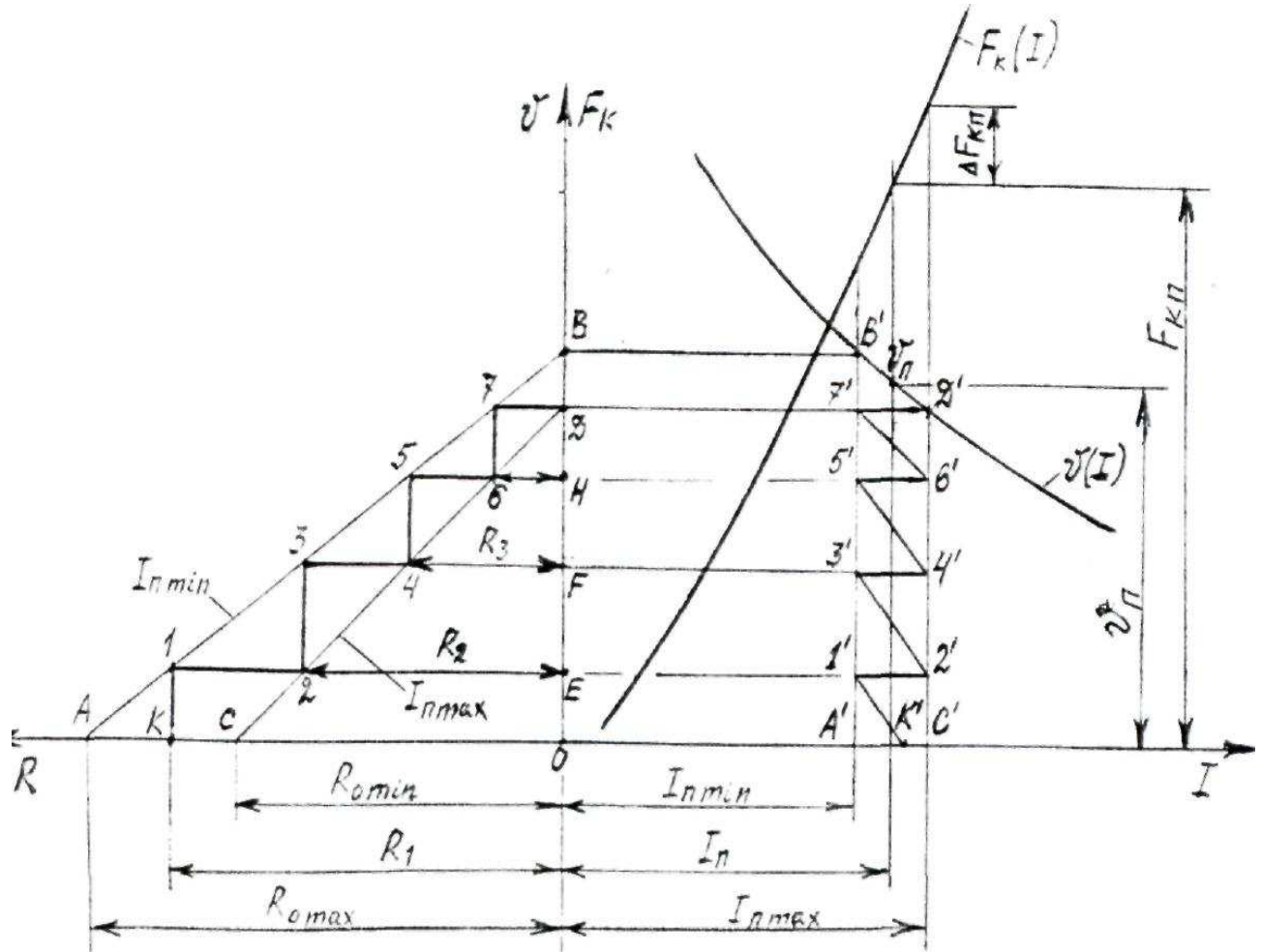


Рис. 1 – Пускова діаграма східчастого реостатного пуску поїзда

Значення середнього й мінімального пускового струму розрахувати за формулою:

$$I_{п} = I_{п.макс} / (1 + K_I);$$

$$I_{п.мін} = I_{п} (1 - K_I),$$

де K_I - коефіцієнт нерівномірності пуску по струму, значення якого наведені в табл. 4.

Порядок побудови діаграми наступний. Проводять вертикальні лінії A`B` і C`Д` (рис.1), що відповідають струмам $I_{п.мін}$ і $I_{п.макс}$. Будують лінії AB і CD залежності $R(V)$, що відповідають струмам $I_{п.мін}$ і $I_{п.макс}$.

При швидкості $V=0$ значення опору пускового реостата розраховують за формулою:

$$R_{0\min} = \left(\frac{U_d}{I_{\max}} - r \right) \frac{m}{p}, \text{ Ом};$$

$$R_{0\max} = \left(\frac{U_d}{I_{\min}} - r \right) \frac{m}{p}, \text{ Ом},$$

де U_d – напруга на затискачах двигуна (табл.3);

r – опір кола якоря двигуна при 115°C ;

m - число послідовно з'єднаних двигунів при пуску;

p - число паралельних кіл, у кожному з яких послідовно включено m двигунів.

Для чотиривісних моторних трамвайних вагонів $m=2$, $p=2$.

Побудова ламаної лінії 1, 2,...7 усередині прямих АВ і СД зручно проводити в наступному порядку. Із точки Д проводять горизонтальну лінію до перетину із прямою АВ у точку 7, а із точки 7 - вертикальну лінію до перетинання із прямою СД у точку 6, далі із точки 6 - наступну горизонтальну лінію й т.д., як показано в лівій частині рис.1. Відрізки ДО, 2Е, 4F і т.д. між вертикальними відрізками ламаної лінії й віссю ординат відповідають у масштабі m_R величинам опорів щаблів реостата по позиціях, а відрізки 1-2, 3-4 і т.д. - секціям реостата, які потрібно виводити для одержання коливань струму від I_{\min} до I_{\max} .

Для побудови діаграми зміни струму крапки 1-2, 3-4,...7-Д на прямих АВ і СД з'єднують горизонтальними лініями й продовжують їх до перетинання прямих А'В' і С'Д' у правій частині малюнка. Далі, з'єднуючи крапки К', 1',...,Д' лініями, будують діаграму струму. Лінії К'-1', 2'-3' і т.д. являють собою частини реостатних характеристик при пускових опорах відповідно R_1 , R_2 , R_3 і т.д., значення яких визначають з вираження:

$$R_1 = KO/m_R, R_2 = 2E/ m_R, R_3 = 4F/ m_R \text{ і т.д.}$$

Коефіцієнт нерівномірності пуску за силою тяги визначають як відношення відхилення $\Delta F_{\text{кп}}$ пускової сили тяги від її середнього значення $F_{\text{кп}}$ (рис. 1):

$$K_F = \Delta F_{\text{кп}} / F_{\text{кп}}.$$

Коефіцієнт $K_F > K_I$, тому що коливання сили тяги, що залежить від добутку струму якоря й магнітного потоку, трохи більше коливань пускового струму.

Задача 5. Визначити середнє пускове прискорення a_{Π} поїзда, коефіцієнт нерівномірності пускового прискорення K_a та пусковий шлях L_{Π} при русі на прямолінійному підйомі з ухилом $i=5$. Значення середнього питомого основного опору руху за час пуску визначити для значення швидкості $V=0,7V_{\Pi}$ за формулами:

$$\begin{aligned} \text{для трамвая} \quad w_{o.cp} &= 5+0,005V^2 = 5+0,005(0,7V_{\Pi})^2; \\ \text{для тролейбуса} \quad w_{o.cp} &= 12+0,004V^2 = 12+0,004(0,7V_{\Pi})^2, \end{aligned}$$

де V_{Π} - пускова швидкість, що відповідає пусковому струму I_{Π} (рис. 1). Вагу трамвая прийняти рівним 230 кН, тролейбуса - 160 кН. Коефіцієнт інерції обертових частин трамвая й тролейбуса прийняти рівним 1,12.

[1], гл. 1,7; [4], §1.3, 6.1; [5], §2.1, 5.1.

Методичні вказівки

Прискорення a_{Π} знаходять із рівняння руху поїзда для режиму пуску на прямолінійному підйомі. Розрахункову формулу зручно записати в наступному вигляді:

$$a_{\Pi} = \frac{\frac{Z_M \cdot F_{\text{кп}}}{G} - w_{o.cp} - w_i}{102(1 + \gamma)}, \text{ м/с}^2,$$

де Z_M – число тягових двигунів у поїзді;

$F_{\text{кп}}$ – середнє значення пускової сили тяги одного двигуна, Н (рис.1);

$(1+\gamma)$ – коефіцієнт частин, що обертаються;

G - вага поїзда, кН.

Коефіцієнт нерівномірності пускового прискорення й пусковий шлях знаходять за формулами:

$$K_a = \frac{\Delta a_{\Pi}}{a_{\Pi}} = \frac{\Delta F_{\Pi}}{F_{\Pi} - W} = K_F \frac{F_{\Pi}}{F_{\Pi} - W} = K_F \left(1 + \frac{w_{o.cp} + w_i}{102(1 + \gamma)a_{\Pi}} \right);$$

$$L_{\Pi} = \frac{V_{\Pi}^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot a_{\Pi}}, \text{ м},$$

де V_{Π} - пускова швидкість (рис. 1), км/год.

Задача 6. Перевірити пускову силу тяги поїзда за умовами зчеплення. Розрахункові значення коефіцієнта зчеплення ψ прийняти рівними для трамвая 0,16, для тролейбуса 0,35.

[1], гл. 2; [4], §2.1; [5], §2.2.

Методичні вказівки

Обмеження пускової сили тяги за умовами зчеплення перевіряють за вираженням:

$$F_{\text{п max}} \leq 10^3 G_{\text{ц}} \psi,$$

де $F_{\text{п max}} = Z_{\text{м}} F_{\text{кп. max}} = Z_{\text{м}} F_{\text{кп.}} (1 + K_{\text{F}})$ - максимальна пускова сила тяги поїзду, Н;

$G_{\text{ц}}$ - зчіпна вага поїзда (сума сил натискання на рейки (дорогу) всіх рушійних осей у поїзді), кН.

У чотиривісного моторного трамвайного вагона всі осі рушійні, тому зчіпна вага дорівнює ваги поїзда: $G_{\text{ц}} = G$.

У тролейбуса ЗІУ-9 зчіпна вага становить 60% загальної ваги, тому що ведучим є тільки задній міст тролейбуса. Отже, $G_{\text{ц}} = 0,6G$.

Задача 7. Побудувати діаграму зміни напруги та ЕРС, а також діаграму розподілу потужностей під час реостатного пуску з незмінним пусковим струмом одного або декількох двигунів, включених в одну постійну групу. Визначити середнє значення коефіцієнта корисної дії за період пуску.

[1], гл. 7; [4], §6.1; [5], §5.1.

Методичні вказівки

При побудові діаграм для спрощення не враховують механічні й магнітні втрати у двигуні й приймають постійним опір руху поїзда протягом усього періоду пуску. У цих умовах прискорення поїзда $a_{\text{п}}$ постійно, швидкість пропорційна часу t , тобто $v = a_{\text{п}} \cdot t = \frac{v_n}{t_n} \cdot t$, загальний час пуску $t_n = \frac{v_n}{a_{\text{п}}}$, а рівняння електричної рівноваги двигуна, відповідно до якого роблять побудову діаграм, приймає вигляд:

$$U_{\text{д}} = U + U_{\text{R}} = E + rI_{\text{п}} + RI_{\text{п}} = CV\Phi_{\text{п}} + rI_{\text{п}} + RI_{\text{п}} = CV_{\text{п}}\Phi_{\text{п}} t/t_{\text{п}} + rI_{\text{п}} + I_{\text{п}}R_0(1 - t/t_{\text{п}}),$$

де r - повний опір двигуна при температурі 115 °С, Ом;

R - пусковий опір, що доводиться на один двигун, Ом (для моторних чотиривісних трамвайних вагонів, у яких двигуни з'єднані паралельно, загальний пусковий опір чисельно дорівнює опорі, що доводиться на один двигун при $U = \frac{U_{\text{км}}}{m}$,

де m - число послідовно з'єднаних двигунів;

R_0 - початкове значення пускового опорі, що відповідає моменту руху поїзда ($t=0$, $V=0$) і обумовлене за формулою:

$$R_0 = \frac{U_{\text{д}}}{I_{\text{п}}} - r.$$

Побудова діаграми зміни напруги й ЕРС надана на рис.2. Значення ЕРС двигуна пропорційно швидкості $V=a_{\pi}t$, а отже, і часу і її зміна представлена лінією 1, що проходить через початок координат. Напруга, що підведена до тягового двигуна $U=E+rI_{\pi}$, зображується прямою лінією 2, паралельної лінії 1.

Напруга $U = \frac{U_{\text{км}}}{m}$ представлена прямою лінією 3, паралельної осі абсцис.

Наприкінці пуску, тобто в момент $t=t_{\pi}$, коли закінчується виведення пускового реостата, лінія 2 перетинає лінію 3, тому що, починаючи із цього моменту, до двигуна підводиться напруга $U = \frac{U_{\text{км}}}{m}$ і він переходить в робочий стан при постійній напрузі.

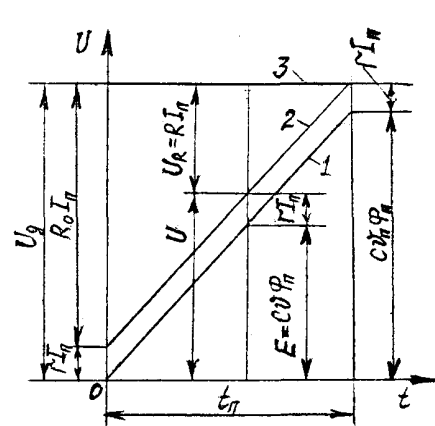


Рис. 2 – Діаграма зміни напруги і ЕРС при пуску

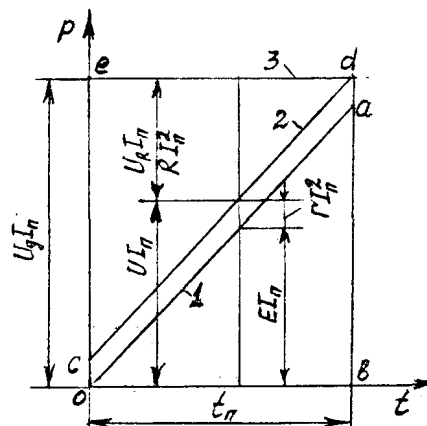


Рис. 3 – Діаграма розподілу потужності при пуску

Різниці ординат ліній 3 і 2 відповідають спаданню напруги RI_{π} у пусковому реостаті. Тому що пусковий струм $I_{\pi}=\text{const}$, ці ж різниці ординат являють собою залежність опору пускового реостата від часу.

Помноживши всі значення ординат на пусковий струм I_{π} , одержимо діаграму розподілу потужностей під час реостатного пуску (рис.3). Тут лінія 1 характеризує зміну електромагнітної потужності двигуна EI_{π} . Тому що не враховуються механічні й магнітні втрати, ця ж лінія являє собою зміну корисної потужності двигуна. Лінією 2 представлена потужність UI_{π} , що підведена до двигуна, лінією 3-потужність $U_{\text{д}} I_{\pi}$, що споживана з мережі. Різниця ординат ліній 2 і 1 виражає потужність втрат rI_{π}^2 у двигуні, а різниця ординат ліній 3 і 2 - потужність втрат RI_{π}^2 у пусковому реостаті.

Тому що енергія дорівнює інтегралу потужності за часом, то площі, що обмежені лініями потужностей, являють собою відповідні витрати енергії. Отже, корисна робота двигуна за увесь час пуску зображується площею трикутника oab, втрата енергії у двигуні - площею осда, втрати в пусковому реостаті - площею sed і, нарешті, вся енергія, яка взята з мережі, - площею прямокутника oedb. Тому що трикутник oab дорівнює трикутнику sed, то в

умовах, для яких побудовані діаграми, загальні втрати енергії в пусковому реостаті дорівнюють корисній роботі, зробленої двигуном за увесь час пуску. Як видно з рис.3, ця енергія трохи менше половини енергії, спожитої протягом цього ж часу з мережі.

Середнє значення ККД за період пуску можна розрахувати за вираженням:

$$\eta_{ср.пуска} = \frac{A_{полез}}{A_{потребл}} 100 = \frac{(U_{д} I_{п} - r I_{п}^2) \cdot t_{п}}{2 \cdot U_{д} I_{п} t_{п}} 100 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{r I_{п}}{U_{д}} \right) \cdot 100, \%$$

Задача 8. Розрахувати й побудувати реостатні характеристики двигуна $V_R(I)$ для перших трьох щаблів опору пускового реостата R1, R2, R3. [1], гл. 7; [4], §5.2, 6.1; [5], §5.3.

Методичні вказівки

Реостатні характеристики розраховують за формулою:

$$V_R = \frac{U_{д} - I(r + R_i)}{U_{д} - Ir} V_{д},$$

де $U_{д}$ - номінальна напруга на двигуні, В;

$V_{д}$ – швидкість, що відповідає заданому значенню струму якоря двигуна I і напрузі $U_{д}$ при повному порушенні (табл.4), км/год;

R_i – опір i -ой щабля пускового реостата, Ом;

r – опір двигуна при 115 °С, Ом.

Результати розрахунку надані у вигляді табл.5.

Таблиця 5 – Дані розрахунку реостатних характеристик

I А	V _д км/год км/година	V _R , км/год		
		R1=...Ом	R2=...Ом	R3=...Ом
100				
150				
200				
250				
300				
350				
400				

За даними табл.5 будують реостатні характеристики двигуна $V_R(I)$ у загальних осях координат з пусковою діаграмою (рис. 1).

Задача 9. Розрахувати й побудувати характеристики швидкості $V(I)$, електромагнітної сили $B_{\text{кэм}}(I)$, $V(B_{\text{кэм}})$ при реостатному гальмуванні двигуна. [1], гл. 9; [4], §6.3; [5], §6.4.

Методичні вказівки

Схема з'єднання й зразковий вид характеристик двигуна при реостатному гальмуванні показані на рис. 4.

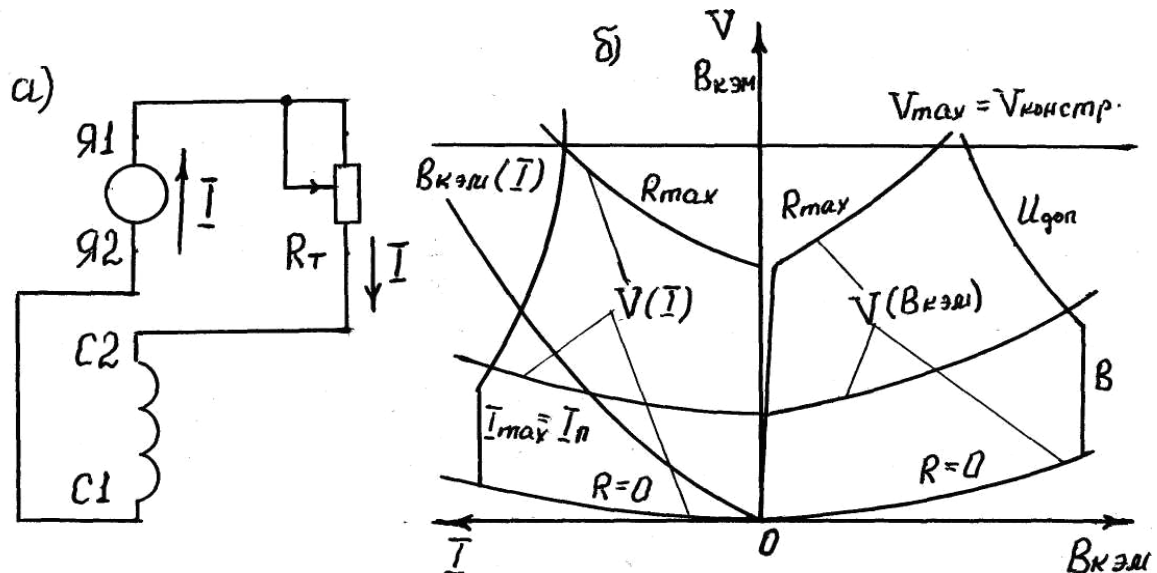


Рис. 4 – Схема з'єднання (а) і характеристики реостатного гальмування (б) двигуна послідовного збудження при регульованих опорах

Гальмові характеристики двигуна послідовного порушення при реостатному гальмуванні будуються на підставі наступних виражень:

$$V = V_d \frac{I(r + R_i)}{U_d - Ir}, \text{ км/год};$$

$$B_{\text{кэм}} = \frac{3,6 \cdot I(U_d - rI)}{V_d}, \text{ Н};$$

$$V_{v_{\text{доп}}} = V_d \frac{U_{\text{доп}} + rI}{U_d - Ir}, \text{ км/год},$$

де V_d - швидкість тягового режиму, що відповідає напрузі $U_d = U_{\text{ном}}$ і току I , для якого визначається швидкість і гальмова сила при реостатному гальмуванні (табл.4), км/год;

$V_{u_{\text{доп}}}$ - максимальна швидкість, що відповідає допустимому напруженню на колекторі двигуна $U_{\text{доп}} = 2 U_d$.

На гальмові характеристики наносяться обмеження:

а) по максимальній швидкості $V_{\max}=V_{\text{констр.}}=65-70\text{км/ год}$;

б) по максимальній швидкості, що відповідає допустимому напруженню на колекторі двигуна, $V_{u_{\text{доп}}}(I)$;

в) по максимальному струмі двигуна або максимальному гальмовому зусиллю, що відповідає цьому струму,

$$B_{\text{кэм.мах}} = 3,6 \cdot C\Phi I_T = \frac{3,6 \cdot (U_d - rI_T)}{V_d} \cdot I_T ;$$

де I_T - середнє значення гальмового струму, що приймають рівним середнього пускового току $I_{\text{п}}$ (завдання 4);

V_d - швидкість двигуна, що відповідає напрузі U_d і току $I=I_T$ (див.табл.4).

Розрахунок гальмових характеристик варто виконувати для трьох значень гальмового опору:

$$R1=R_{\min}=0, \quad R2=U_{\text{доп}}/I_T \quad R3=2 U_{\text{доп}}/I_T.$$

Значення струму й швидкості V_d варто брати відповідно до табл. 4. Результати обчислень варто представити у вигляді табл.6.

Таблиця 6 – Дані розрахунку характеристик реостатного гальмування

I А	V _д км/год	V _{u доп} км/год	R1=0		R2=... Ом		R3=...Ом	
			V, км/год	Вкем, Н	V, км/год	Вкем, Н	V, км/год	Вкем, Н
100								
150								
200								
250								
300								
350								
400								
450								

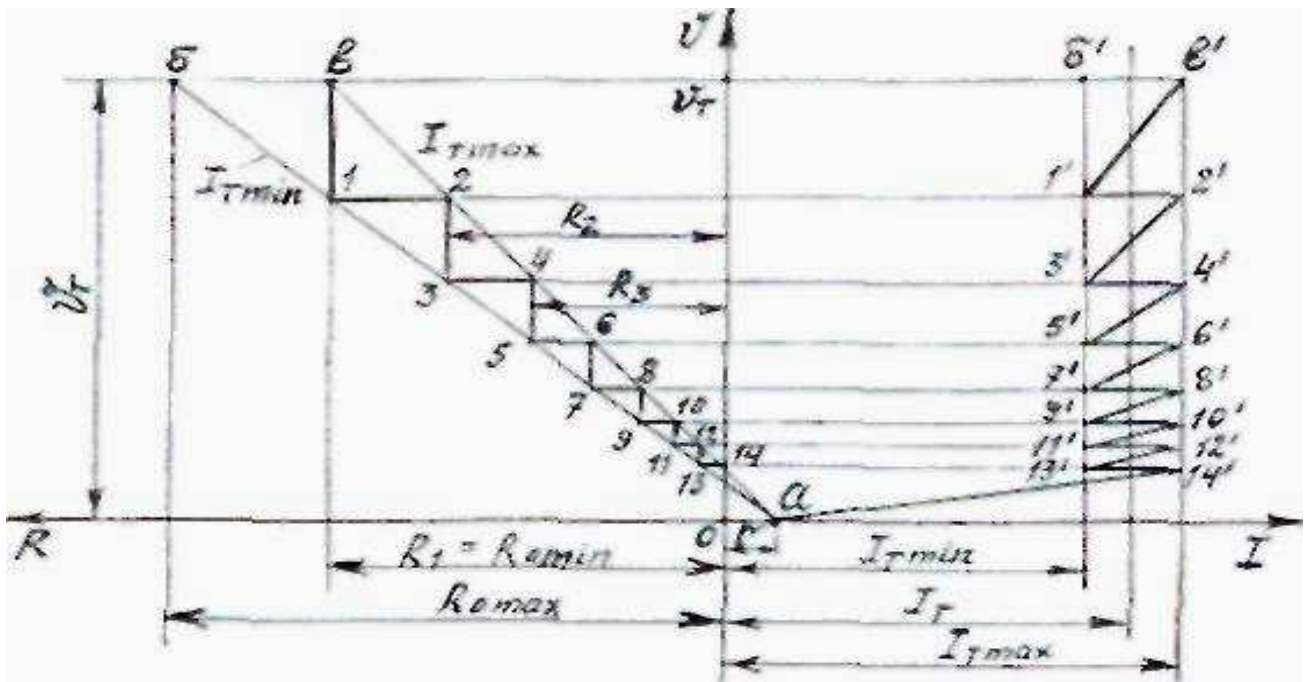


Рис. 5 – Східчаста діаграма реостатного гальмування двигуна послідовного збудження

Задача 10. Розрахувати й побудувати східчасту діаграму реостатного гальмування двигуна, визначити опору перших трьох щаблів гальмового реостата. Значення максимального гальмового струму прийняти рівним $I_{T.max}=I_{п.max}=1,2 I_{ч}$; найбільшого допустимі напруження на колекторі двигуна $U_{доп}=2 U_{д}=2U_{ном}$.

[1], гл. 9; [4], §6.3; [5], §6.4.

Методичні вказівки

Порядок побудови східчастої діаграми реостатного гальмування двигуна наданий на рис.5.

Діаграму реостатного гальмування побудувати в обраних масштабах швидкості m_V , мм/(км/год); струму m_i , мм/А; опору m_R , мм/Ом.

Побудову виконують у наступному порядку. На діаграмі праворуч проводять вертикальні прямі, що відповідають значенням струму

$$I_{T.max}=I_{п.max} \text{ і } I_{T.min}=I_{п.min}.$$

Розраховують швидкість початку гальмування за формулою:

$$V_T = V_{д} \frac{U_{доп} + r I_T}{U_{д} - I_T r}, \text{ км/год},$$

де $I_T=I_{п}$ - середнє значення гальмового струму, А.

Визначають початкові значення опору гальмового реостата при $V=V_T$ за формулами:

$$R_{0min} = \frac{V_T (U_d - r I_{Tmax})}{V_d \cdot I_{Tmax}} - r, \text{ Ом};$$

$$R_{0max} = \frac{V_T (U_d - r I_{Tmin})}{V_d \cdot I_{Tmin}} - r, \text{ Ом},$$

де V_d - швидкість двигуна відповідно при значеннях струму I_{Tmax} і I_{Tmin} (табл. 4).

На діаграмі (рис. 5) ліворуч проводять прямі ab і av залежності $R(V)$, що відповідають струмам I_{Tmin} і I_{Tmax} . Координати точок наступні: $a(-r;0)$, $b(R_{0max};V_T)$, $v(R_{0min};V_T)$.

Побудова ламаної лінії 1, 2, 3,... усередині прямих ab і av , що зображує східчастий характер зміни опору гальмового реостата, проводять у такий спосіб. Із точки B проводять вертикальну лінію до перетинання із прямою ab у точці 1, із точки 1 проводять горизонтальну лінію до перетинання із прямою av у точці 2, далі із точки 2 - наступну вертикальну лінію й т.д., як показано на рис.5. Відрізки між ламаною лінією й віссю ординат відповідають у масштабі m_R величинам опорів щаблів гальмового реостата, а відрізки 1-2, 3-4 і т.д. - частинам (секціям) гальмового реостата, які потрібно виводити (відключати) для забезпечення коливання струму від I_{Tmin} до I_{Tmax} .

Для побудови діаграми зміни гальмового струму у функції швидкості через точки 1-2, 3-4 і т.д. проводять горизонтальні лінії до перетинання з вертикальними прямими струмів I_{Tmax} і I_{Tmin} (у правій частині рис.5). З'єднуючи отримані точки 1', 2', 3',... лініями, одержують діаграму гальмового струму. Лінії $v'-1'$, $2'-3'$ і т.д. являють собою відрізки реостатних характеристик при гальмових опорах відповідно $R1=R_{0min}$, $R2$ і т.д.

Методичні вказівки до проведення лабораторної роботи у філіях кафедри

Лабораторна робота у філіях кафедри проводяться в
трамвайних або тролейбусних депо

Лабораторна робота № 1

Визначення основного опору при русі рухомого складу без струму (у режимі вибігу).

Суть роботи

Основний опір руху являє собою опір руху на прямолінійній і горизонтальній відкритій ділянці шляху при будь-якій швидкості руху. Ця складова опору руху обумовлена внутрішнім тертям у рухомому складі, опором, що виникає при взаємодії рухомого складу й колії, а також опором повітряного середовища при відсутності вітру.

Для електрорухомого складу умовно розрізняють опір руху в режимі тяги або електричного гальмування, коли тягові машини працюють за допомогою двигунів або генераторів (рух під струмом), в режимі вибігу й механічного гальмування (рух без струму). Різниця в значеннях опору руху викликаний тільки тим, що при русі під струмом механічні втрати енергії в тягових двигунах і механічній передачі, що враховуються в характеристиці двигуна, покривається енергією, споживаної з контактної мережі; при русі на вибігу ці ж втрати, що покриваються кінетичною енергією рухомого складу, ураховують збільшенням опору руху.

Установити теоретичним шляхом значення основного опору руху надзвичайно важко, тому що воно залежить від багатьох факторів, що змінюються в процесі руху випадково або по досить складних закономірностях. Тому основний опір руху визначають досвідченим шляхом при випробуваннях рухомого складу на лінії.

На міському електричному транспорті проводять регулярну перевірку питомого основного опору руху. Для такої перевірки досить обмежитися визначенням опору руху при малих швидкостях, яке можна проводити безпосередньо на деповських коліях.

Ціль роботи - придбати практичні навички досвідченого визначення питомого основного опору руху на вибігу тролейбуса або трамвая умовах депо.

Підготовка до роботи

1. Вивчити теоретичний матеріал до даної роботи:
[1], с. 39-46, 49-51; [2], с. 15-19, 24.
2. Одержати інструктаж щодо правил і заходів безпеки на дозвіл проведення експерименту на виділених для цього рухомого складу та ділянці деповської колії у зазначений час.
3. Придбати секундомір і вимірник шляху.

Порядок виконання роботи

Випробування проводять на прямолінійній та горизонтальній або з невеликим постійним ухилом (до 2 %) ділянці шляху. Рухомий склад розганяють до невеликої швидкості, після чого він рухається в режимі вибігу до повної зупинки. Вимірюють час руху t_b , с, і пройдений шлях ℓ_b , м. При малих швидкостях рух рухомого складу за час вибігу вважають рівномірно вповільненим і питомий опір руху відносять до середньої швидкості. Тоді уповільнення рухомого складу, м/с^2 :

$$a_b = \frac{2 \cdot \ell_b}{t_b^2}.$$

Питомий опір руху визначають із рівняння руху в режимі вибігу за формулою:

$$w_{ox} = 102(1 + \gamma) \cdot a_b - w_i = 102(1 + \gamma) \cdot \frac{2\ell_b}{t_b^2} - w_i, \text{ Н/кН},$$

де $w_i > 0$ – на підйомі й $w_i < 0$ – на спуску.

Питомий опір руху від ухилу w_i , Н/кН, чисельно дорівнює крутості ухилу i , ‰, при цьому думають $i > 0$ на підйомі й $i < 0$ на спуску.

Коефіцієнт інерції обертових частин порожнього рухомого складу (моторного вагона трамвая, тролейбуса) $k_{и} = 1 + \gamma$ прийняти рівним 1,15 – для тролейбуса типу ЗІУ-9 і 1,12 – для вагона трамвая КТМ-5М.

Якщо розраховане значення питомого опору руху виявиться більше нормованого для даного типу рухомого складу, то рухомий склад піддається огляду й ремонту.

Звіт про роботу

Про пророблену роботу кожний студент складає звіт.

Звіт повинен містити: назву роботи, дату виконання, шифр навчальної групи, прізвище й ініціали виконавця; ціль роботи й завдання; результати вимірів і обчислень; короткі пояснення й оцінку отриманих результатів експерименту.

Контрольні питання

1. Що являє собою повний, основний і додатковий опори руху поїзда? Від чого вони залежать і чим обумовлені?
2. Чим обумовлена різниця в розрахункових значеннях основного опору руху поїзда при русі рухомого складу під струмом і без струму?
3. У якому випадку сила опору руху може бути спрямована за напрямком руху поїзда?
4. Які експлуатаційні й конструктивні заходи щодо зменшення опору руху?
5. Що означає крутість схилу, виражена в тисячних частках (промилях)?
6. Чому чисельно дорівнює питомий опір руху від ухилу?

Список джерел

Основна

1. Пушков П.М. Основы электрической тяги. Часть 1. Характеристики основных режимов движения поезда: Уч. пособие для студентов специальности 7.092.202 – «Электрический транспорт». – Харьков: ХНАГХ, 2001. – 187 с.
2. Пушков П.М. Основы электрической тяги. Часть 2. Тяговые расчеты. Частотно-регулируемый асинхронный тяговый привод: Уч. пособие для студентов специальности 7.092202 – «Электрический транспорт». – Харьков: ХНАГХ, 2001. – 103 с.
3. Методичні вказівки до практичних і самостійних занять з дисципліни «Основы електричної тяги» (для студентів 3 курсу денної і 4 курсу заочної форм навчання спеціальностей: 6.092200 «Електричні системи і комплекси транспортних засобів»; «Електричний транспорт») / Укл.: доц., к.т.н. Пушков П.М., доц., к.т.н. Мінеєва Ю.В. – Х.: ХНАМГ, 2009. – 79 с.

Додаткова

4. Теория электрической тяги / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров, М.И. Озеров; Под ред. И.П. Исаева. – М.: Транспорт, 1995. – 294 с.
5. Байрыева Л.С., Шевченко В.В. Электрическая тяга: Городской наземный транспорт: Учебник для техникумов. – М.: Транспорт, 1986. – 206 с.
6. Кутыловский М.П. Электрическая тяга / городской электрический транспорт. – М.: Издательство литературы по строительству, 1970. – 263 с.
7. Осипов С.И., Миронов К.А., Ревич В.И. Основы локомотивной тяги. Учебник для техникумов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1979. – 440 с.
8. Курбасов А.С., Седов В.И., Сорин Л.Н. Проектирование тяговых электродвигателей: Учебное пособие для вузов ж.-д. трансп. / Под ред. А.С. Курбасова. – М.: Транспорт, 1987. – 536 с.
9. Методические указания к практическим и самостоятельным занятиям по тяговым расчетам по дисциплине «Основы электрической тяги» (для студентов 3 курса дневной, 4 курса заочной форм обучения специальности 7.092202 – «Электрический транспорт») / Сост.: Пушков П.М., Андрейченко В.П., Кульбашный А.В. – Харьков, ХНАГХ, 2008. – 86 с.

ЗМІСТ

Вступ.....	3
Методичні вказівки до вивчення теоретичної частини дисципліни.....	4
Контрольні завдання до практичних занять.....	14
Методичні вказівки до курсової роботи.....	25
Методичні вказівки до проведення лабораторної роботи у філіях кафедри.....	39
Список джерел.....	41

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки
до практичних та самостійних занять, контрольних завдань,
курсової роботи і лабораторної роботи
з дисципліни

«Основи електричної тяги»

(для студентів заочної форми навчання напряму підготовки
6.050702 «Електромеханіка», спеціальностей «Електричні системи і
комплекси транспортних засобів» та «Електричний транспорт»)

Укладачі: **ПУШКОВ** Павло Максимович,
МІНЄЄВА Юлія Віталіївна

Редактор *Д. Ф. Курильченко*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2011, поз. 184 М

Підп. до друку 13.04.2011р.	Формат 60×84/16
Друк на ризографі.	Ум.-друк. арк. 2,5
Тираж 50 пр.	Зам. №

Видавець і виготовлювачі
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12.05.2011р.